

Ueber die auf Wasser gleitenden elektrischen Funken.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

hohen philosophischen Fakultät der Universität Marburg

vorgelegt von

JULIUS SPIESS

aus Hohensolms, Kreis Wetzlar.

Marburg.

Universitäts-Buchdruckerei (R. Friedrich).

1887.

Die Originale der drei Figurentafeln wurden vom Verfasser
nach der Natur gezeichnet.

Seinem hochverehrten Lehrer

Herrn Professor Dr. F. Melde

in Hochachtung und Dankbarkeit

gewidmet

vom Verfasser.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554034_0068

Seit der Entdeckung der sogenannten Lichtenberg'schen Staubfiguren und der Karsten'schen Ringfiguren, hat man stets die Hoffnung gehegt, dieselben zur Erklärung des Wesens der Elektrizität, zumal des [wunderbaren Vorgangs bei der elektrischen Entladung zu verwerthen. Doch scheint bis jetzt noch keine der zahlreichen Theorien, die man hierüber aufgestellt hat, und unter welchen diejenige des Herrn W. von Bezold besonders hervorgehoben zu werden verdient¹⁾, sich einer allgemeinen Anerkennung zu erfreuen, es schwebt vielmehr auf dem ganzen Gebiet dieser Erscheinungen noch ein geheimnisvolles Dunkel, was sich vor allem dadurch bekundet, dass die meisten Physiker, welche sich mit diesem Gegenstand beschäftigt haben, von „zufälligen“ Erscheinungen oder von Versuchen, „die nur sehr selten gelingen“ u. s. w. reden; und solange nicht selbst die geringfügigsten Nebenumstände bei Experimenten erklärt werden können, darf man versichert sein, die wahren Ursachen nicht vollkommen erkannt zu haben. Auch in Bezug auf die sogenannten elektrischen Funkenbilder, welche Herr K. Antolik²⁾ und fast gleichzeitig Herr de Waha³⁾ entdeckt und beschrieben haben, wurden die Erwartungen, dass sie zur Erklärung der elektrischen Entladung verwendet werden könnten, bis jetzt noch getäuscht. Vielmehr glauben Herr E. Mach und Herr Wosyka⁴⁾ den Nachweis geliefert zu haben, dass jene Figuren akustischen Ursprungs sind, und man hat sie demnach zu anderen Zwecken (z. B. zu Zeitmessungen) benutzt. Unter so bewandten Umständen könnte man es für verlorene Mühe halten, sich noch weiter mit den genannten Funkenbildern in elektrischer Hinsicht zu beschäftigen, doch da ich schon öfters von Blitzen gelesen und gehört hatte, welche an irgend einem Gegenstand unter Hinterlassung von mächtigen Rissen, Furchen und anderen Spuren, wie man sie an grünen Bäumen wahrnehmen kann, entlang gefahren seien, so beschloss ich, die Antolik'schen Versuche mit Rücksicht hierauf auszubeuten und, es ist mir auch gelungen, denselben auf diese Weise eine, so weit es mir bekannt ist, neue Seite abzugewinnen.

Herr K. Antolik kam zuerst auf den Gedanken, den elektrischen Funken sich selbst abzeichnen zu lassen, während man schon vorher denselben, ja sogar den Blitz selbst, photographirt hatte, ohne daraus einen grossen Nutzen ziehen zu können. Er brachte, nachdem er vergeblich dem Funken Glasplatten mit den verschiedensten Pulvern vorgehalten

1) Pogg. Ann. 144.

2) Pogg. Ann. 151. S. 127.

3) Publications de l'institut royal grandducal de Luxembourg. Tom. XIV.

4) Pogg. Ann. 156. S. 407.

hatte, in der Nähe der Pole einen berussten Glaskolben. Die Entladung ging nun nicht mehr durch die Luft, sondern dicht an dem Glaskolben entlang und liess auf demselben ein deutliches Bild zurück. Alsdann klebte er auf eine Glasplatte zwei zugespitzte Staniolstreifen, überzog dieselben mit sehr feinem glatten Papier, berusste die Platte und liess nun den Funken zwischen den Staniolspitzen überschlagen. Ein ähnliches Verfahren wandte Herr de Waha an¹⁾. Derselbe liess dann auch später ebenso wie Herr A. Peters²⁾ die Funken direkt auf einer angerussten Glassplatte ohne Staniolbeklebung gleiten. Ich habe den Versuch in der zuletzt genannten einfachen Weise wiederholt und Funkenbilder erhalten, welche mit den Zeichnungen der genannten Physiker vollkommen übereinstimmen. In Fig. I habe ich versucht, ein solches Bild darzustellen. Herr Antolik hat die Funkenbilder sehr genau beschrieben und eine eigene Nomenclatur dafür eingeführt; er unterscheidet eine „lichte Linie“, eine „braune Schicht“, eine „Strahlschicht“, die „unsichere Doppellinie“, die „Hauptschicht“, die „Nebenschichten“, die „Bergschicht“ und die „lichte Schattierung“. Ich will auf die Beschreibung dieser Schichten hier nicht näher eingehen, weil sie in dem Folgenden keine Bedeutung haben; man kann sie übrigens mit einigem guten Willen in der beigegebenen Zeichnung erkennen. Während Herr Antolik die Bilder der Breite nach hat sie Herr Peters der Länge nach beschrieben; er unterscheidet ein positives, ein mittleres und ein negatives Drittel. Den mittleren Teil nennt er auch das Ausgleichsdrittel. Die Unterschiede dieser Partien charakterisirt er mit folgenden Worten: „Die eigenthümliche Natur der +Elektricität zeigt sich 1. in der Bildung der Ausschweifungen und Verästelungen; 2. in der zickzackförmigen Krümmung ihrer Bahn; 3. in den hellen kegelförmigen Ausstrahlungen aus Winkeln ihrer Bahn; 4. in der dunklen Farbe der mittelsten Linie ihrer Bahn. Bei ihr kommen also die dunklen Streifen in einer Unpaarzahl, die hellen in einer Paarzahl vor.

„Die —E. charakterisiert sich dagegen 1. durch den Mangel an Auszweigungen; 2. durch die schwachen Krümmungen ihrer Linien; 3. durch den Mangel an hellen kegelförmigen Ausstrahlungen; 4. durch die helle Farbe der mittelsten Linie ihrer Bahn, so dass bei ihr die hellen Streifen in einer Unpaarzahl, die dunklen in einer Paarzahl vorkommen.

„Die beiden EE. vereinigen sich bei den Blitzen nicht an einem Punkt, sondern auf einer grösseren Strecke. In vielen Fällen mag die Vereinigung an allen Punkten der Bahn eines Blitzes vor sich gehen. Zeigen sich in den Bildern der gleitenden Blitze — ohne vorgeschriebene Bahn — überall die hellen kegelförmigen Ausstrahlungen in gleicher Weise, so muss man überall eine Vereinigung der beiden entgegengesetzten EE. annehmen. Indes werden ohne Zweifel in einem solchen Falle die hellen Ausstrahlungen keineswegs so scharf hervortreten, wie das in dem positiven Drittel unserer Figur der Fall ist.“ In einer weiteren Abhandlung, in der Herr Peters über die Funkenbilder grosser Induktoren und deren Unterschied von den Funkenbildern der Holtz'schen Maschinen handelt, sagt er, dass das negative Drittel nicht immer aller Ausläufer entbehre. Ich habe eine derartige Differenz des negativen und positiven Funkenbildes nicht wahrgenommen, auch in

1) Publication de l'institut de Luxembourg. Tom. XIV.

2) Pogg. Ann. 156. S. 397.

Zeichnungen des Herrn de Waha befinden sich die Ausläufer auf der ganzen Länge der Bahn.

Von allen Teilen der Funkenbilder haben die helleren kometenschweifähnlichen Zeichnungen, welche sich, unregelmässig angeordnet, senkrecht auf der Längsrichtung des Funkens nach aussen oft weit hinausziehen, und welche in den genannten Abhandlungen bald kegelförmige Ausläufer oder lichte Schattierungen, bald V-förmige Streifen genannt werden, am meisten die Aufmerksamkeit der Forscher auf sich gezogen. Besonders schön werden dieselben dadurch erhalten, dass man dem Funken die Bahn vorschreibt, indem man nach Antolik¹⁾ eine 1—1,5 mm breite Linie mittels Goldfarbe auf die Glassplatte vorzeichnet. Ist diese Linie wellenförmig oder zickzackförmig, so erhält man prachtvolle, sehr regelmässige Figuren, welche in den genannten Abhandlungen durch sehr gelungene Zeichnungen wiedergegeben sind. Die Erklärung derselben ist jedoch sehr schwierig; Herr K. Antolik hielt sie anfangs für Wirkungen der Induction, in der Arbeit von E. Mach und I. Wosyka sind sie als Ergebnisse von Interferenzen aufgefasst. Es heisst dort: „Die von beiden Schenkeln des mittels Goldfarbe vorgezeichneten Winkels ausgehenden und parallel diesen Schenkeln fortschreitenden linearen Wellen überkreuzen sich längs der Halbierungslinie des Winkels. Wo ihre teilweise entgegengesetzten Impulse zusammenreffen, wird der Russ angehäuft, während er sonst weggeführt wird.“ Dies trifft bei den Linien, welche in den kometenschweifähnlichen Ausläufern vorkommen, jedenfalls zu besonders bei den Funkenbildern mit vorgeschriebener Bahn, doch scheinen mir die Ausläufer selbst eine andere Ursache zu haben, denn die parallel mit der Funkenbahn fortschreitenden Wellen, machen sich nur auf eine sehr geringe Strecke in dem Bild bemerkbar, während die Ausläufer diese Entfernung um das Doppelte oder Dreifache übertreffen. Ferner müsste auch bei den willkürlichen Bildern — ich nenne so diejenigen, welche ohne vorgeschriebenen Weg entstehen — an jeder Biegung oder Ecke der Bahn eine derartige Zeichnung sichtbar sein, dies ist aber keineswegs der Fall. Dagegen glaube ich annehmen zu können, dass von den Spitzen der dreieckigen Ausläufer eine heftigere Bewegung als von den anderen Punkten ausgeht, dass dieselben also Hauptexplosionscentren sind, was vor allem aus den Versuchen auf einer Wasserfläche deutlich hervorgehen wird.

Dies ist soweit ich die Sache zu verfolgen Gelegenheit hatte, der gegenwärtige Stand jener Untersuchungen.

Wenn man über einer Platte von beliebigem Material, welche man mit irgend einem Pulver gleichmässig bestreut hat, den elektrischen Funken überschlagen lässt, so ordnet sich das Pulver nach und nach zu kreisförmigen Ringfiguren an, welche innen dick und weiter von einander entfernt sind, während sie nach aussen zu immer enger und dünner werden. Zwischen den beiden Polen ist ein Stück der Platte, welches die Form einer Lemniscate hat, deren grosse Axe senkrecht zu der Funkenrichtung ist, vollständig frei. Die einzelnen Ringe bilden jedoch keine geschlossenen Curven, sondern sie gehen oft in einander über, offenbar sind aber die einzelnen Abschnitte Kreisteile, so dass das Ganze aus excentrischen sich vielfach schneidenden Kreissystemen zusammengesetzt erscheint.

1) Pogg. Ann. 154. S. 27.

Auf den ersten Blick sieht man, dass das Bild akustischen Vorgängen seinen Ursprung verdankt; an den Stellen, die etwa den Schwingungsknoten einer Saite entsprechen, häuft sich das Pulver an, während es dazwischen hinweggefegt wird. Wäre nun die Explosion eine einfache, so müsste man nur ein System von concentrischen Ringen bekommen, da aber, wie wir oben sahen, eine grosse Menge von sich durchsetzenden Curven entsteht, so haben wir es mit einer ganzen Reihe von Explosionscentren zu thun. Ganz derselben Ansicht ist auch Herr de Waha. Doch sagt er: „Les lignes noires qui se retrouvent dans toutes ces figures, prouvent que les explosions ne sont pas simples, car ces lignes sont évidemment le resultat de l'interférence de deux ou plusieurs décharges élémentaires, ce sont pour ainsi dire des lignes nodales. Le problème est assez difficile de conclure de l'examen de ces lignes à la manière dont les décharges partielles se sont produites, car, pour des étincelles un peu intenses elles deviennent de plus en plus irrégulières. Il paraît donc préférable de s'occuper d'abord de l'interférence de deux étincelles distinctes se produisant à de distances convenables d'une plaque noircie au noir de fumée.“ Hiermit verlässt er wieder unser eigentliches Thema. Die oben beschriebene Figur ändert sich, selbst wenn man eine grössere Zahl von Funken überschlagen lässt, nur sehr langsam, woraus man schliessen kann, dass die Hauptexplosionscentren unter gleichen Umständen in der Luft fast immer dieselben bleiben.

Als ich nun die Antolik'schen Funkenbilder zuerst näher betrachtete, so drängte sich mir die Vermutung auf, dass die kometenschweifähnlichen Ausläufer und die oben erwähnten Ringfiguren in einem engen Zusammenhang stehen müssten, oder vielmehr dieselbe Ursache haben könnten. Was lag nun näher, als zu versuchen, ob dieselben sich nicht gleichzeitig herstellen liessen? Anfangs brachte ich unter den Conductorkugeln eine bestreute Platte und über denselben eine angerusste Glastafel an, doch wurden die Schallwellen so vielfach reflektiert, dass in der Figur keine Spur von Gesetzmässigkeit mehr erkannt werden konnte. Darauf hielt ich über die Pole einen schmalen Glasstreifen, welcher mit einer dünnen Russschicht überzogen war, nun bildeten sich die beiden Bilder zwar regelmässig aus, doch scheiterte der Versuch daran, dass immer mehrere Entladungen nötig sind, um die Ringfiguren hervorzubringen, auch lagen die Bilder nicht in derselben Ebene, so dass sie nicht gut in einen Zusammenhang zu bringen waren. Ich sann deshalb auf neue Mittel, die Figuren gleichzeitig und in derselben Ebene herzustellen, und da ein Versuch mit einer in der Mitte geschwärzten und am Rande bestreuten Glasplatte ebenfalls misslang, so probierte ich es mit einer Flüssigkeitsoberfläche. Bestreut man nämlich Wasser mit Lycopodiumsamen, so haftet ein Teil desselben fest, während die darüber befindlichen Schichten nur leicht aufliegen und sich durch den geringsten Lufthauch wegblasen lassen. Als ich so das Experiment wiederholte, gelang dasselbe vollkommen. Der Funken glitt nicht nur über die Wasseroberfläche, sondern er hinterliess auch deutliche Spuren ähnlich den Antolik'schen Bildern, und die Ringfiguren entstanden ebenfalls, wenn auch nicht so schön, wie auf einer Platte.

Bevor ich jedoch auf die Beschreibung meiner Experimente näher eingehe, scheint es mir am Platze zu sein, die Mittel, deren ich mich bediente, kurz zu beschreiben. Als Elektrizitätsquelle wurden immer Holtz'sche Influenzmaschinen angewendet; es waren deren

zwei, eine kleinere mit einer beweglichen Scheibe von dem Durchmesser 302 mm und eine grössere mit zwei rotierenden Scheiben, deren Durchmesser 607 mm betrugen. Die Grösse des inneren Belegs der Leidener Flaschen soll bei den einzelnen Versuchen jedesmal besonders vermerkt werden. Als Pole dienten die Kugeln des allgemeinen Henley'schen Entladers, welche an Messingstäben befestigt waren, die sich um zwei Axen drehen liessen. Das Wasser befand sich in Schalen von Glas oder Porzellan, es war also immer isoliert.

Während ich nun mit den oben geschilderten Versuchen beschäftigt war, wurde meine Aufmerksamkeit durch einen anderen Umstand abgelenkt, welcher hier vor der Beschreibung der Funkenbilder etwas näher erörtert werden soll. Es fiel mir nämlich auf, dass während die Funken der Batterie nur wenige Centimeter lang waren, die gleitenden diesen Betrag um das Zehnfache und mehr übertrafen. Dieser Umstand ist von allen Physikern, die sich mit diesem Gegenstände beschäftigt haben, gar nicht beachtet worden; nur Herr de Waha sagt¹⁾: „On faisait varier maintenant la distance des aiguilles à la plaque de verre, ou bien l'intervalle qui séparait les extrémités des aiguilles, ou bien encore l'intensité de la décharge électrique. Auch hat er mehrere Zeichnungen für verschiedene Distancen unter sonst gleichen Verhältnissen angefertigt, doch weiter scheint er die Sache nicht verfolgt zu haben. Mich interessierte aber gerade diese Eigenschaft der gleitenden Funken am meisten, und ich habe eine Reihe von Versuchen in dieser Hinsicht angestellt, besonders um die Abhängigkeit der Länge von der Menge der Elektrizität und der Entfernung der Pole von der Wasseroberfläche genauer zu ermitteln, denn dass eine solche stattfindet, ist von vornherein evident.

Die Anordnung der Apparate zu den Experimenten war die denkbar einfachste, mit den Polen der Holtz'schen Maschine war die Batterie und mit dieser die Arme des allgemeinen Henley'schen Entladers durch geglühte Kupferdrähte oder Kugelketten aus Messing verbunden, unter den Polkugeln schliesslich befand sich die Wasseroberfläche. Die Entfernung des negativen Poles vom Wasser musste ein wenig kleiner genommen werden als die des positiven, dies ist der einzige Unterschied, welchen ich zwischen den beiden Elektrizitäten wahrgenommen habe. Die Maschine wurde stets so lange gedreht, bis sich entweder die Batterie von selbst entlud, oder durch das Aufhören des Zischens in jener angezeigt wurde, dass sich diese nicht weiter laden lasse.

Zuerst war die Entfernung der Pole von einander, die wir in dem Folgenden immer mit D bezeichnen wollen, so gering, dass die Entladung durch die Luft vor sich ging. Dann wurde D allmählich vergrössert, bis gleitende Funken entstanden. Hat D eine bestimmte Grösse erreicht, dann verschwinden dieselben wieder, doch findet auch dann noch eine Entladung statt, aber nur zwischen den Polen und der Wasseroberfläche. Die zuletzt genannten Versuche gewähren besonders im dunklen Zimmer einen überraschenden Anblick. Das Wasser wird unmittelbar unter den Kugeln ein wenig emporgehoben, so dass ein kleiner Wasserhügel entsteht; plötzlich sieht man einen weisslichen Funken unter ganz schwachem Geräusch überspringen, während auf dem Wasser ein prachtvoller Stern mit

1) Publ. de l'institut de Luxembourg. Tom. XIV, p. 71.

vielfach verzweigten Radian von violetter Farbe entsteht, welcher der Lichtenberg'schen positiven Staubfigur vollkommen ähnlich ist, und zwar gewahrt man an beiden Polen dasselbe Bild, nur ist das negative etwas kleiner. Die Regelmässigkeit der Sternfiguren wird insofern etwas beeinträchtigt, als die Zweige in der Richtung nach dem entgegengesetzten Pole etwas verlängert sind. In der Fig. 2, deren nähere Beschreibung weiter unten ihren Platz finden soll, stellen die schwarzen Linien die genannten Sternfiguren dar. Die Grenzdistance, bei welcher die gleitenden Funken beginnen, ist in jedem Fall eine ganz bestimmte, doch ist es nicht leicht, sie genau anzugeben, weil der Feuchtigkeitsgrad der Luft wie bei allen derartigen Versuchen einen zu grossen Einfluss ausübt. Doch kann man sehr gut beobachten, wie bei geringer werdendem D die Strahlen in der Richtung des anderen Poles allmählich länger werden, bis sich zwei oder mehrere erreichen und so zum gleitenden Funken werden. Die Farbe desselben ist weisslich mit einem Stich ins Bläuliche, welcher indes verschwindet, wenn man D unter sonst gleichen Verhältnissen noch weiter verringert. Daneben bleiben aber die übrigen Strahlen des Sternes ebenfalls bestehen, wenn sie auch an Grösse etwas abnehmen. Wenn man dann die Pole immer mehr nähert, so wird der Knall immer heftiger, die Funkenbahn gestreckter, die Farbe intensiver weiss und die Sternstrahlen kleiner und kleiner, ohne jedoch ganz zu verschwinden.

Die Ergebnisse meiner Untersuchungen sind der Kürze und besseren Uebersicht halber in der folgenden Tabelle zusammengestellt. In derselben bedeuten: D wie oben die Entfernung der Polkugeln innen gemessen (die Länge der Funken war also ungefähr um den zweifachen Radius der Kugeln grösser, da der Funken meist senkrecht von dem tiefsten Punkt nach unten auf die Wasseroberfläche springt), r den Radius der Polkugeln, dn und dp bezw. die Entfernungen des negativen und positiven Poles von dem Wasserspiegel, B die Grösse des inneren Belegs der Batterie, N die Anzahl der Umdrehungen der Maschine, welche nötig war, bis die Entladung erfolgte, und in der letzten Rubrik F gleitende Funken, St Entladungen mit Sternfiguren, und zwar ist das Verhältnis der Anzahl, wenn bei demselben D beide auftraten, durch die Zeichen $\leq$ vermerkt.

Tabelle.

r	dn	dp	D	N	B	
26,5	13,0	11,0	124,0	17	676 $\square$ cm	F
"	10,1	7,4	199,4	17	"	F
"	8,9	6,7	201,3	11	"	St
"	10,0	10,2	200,0	17	"	F > St
"	9,0	9,0	161,0	17	"	F = St
"	11,0	11,0	266,0	20	"	F < St
"	10,0	11,2	260,6	40	1352 $\square$ cm	F > St
"	"	"	260,6	40	96 $\square$ cm	0
13,1	10,7	9,4	< 85,0	1 1/2	"	F
"	"	"	85,0	1 1/2	"	F = St
"	"	"	> 85,0	1 1/2	"	St

r	dn	dp	D	N	B	
13,1	12,0	12,0	104,0	2	96 □cm	F = St
"	"	10,0	104,0	2	"	F > St
"	9,0	8,4	231,0	10	676 □cm	F
"	"	11,0	225,0	20	"	F
"	11,0	"	226,3	20	"	F
"	"	12,7	226,3	20	"	F
"	"	"	235,0	20	"	St
"	"	"	231,0	20	"	F = St
"	8,5	11,4	234,0	17	"	F
"	"	"	242,5	17	"	F
"	9,8	12,0	254,0	17	"	F
"	"	"	262,0	18	"	F
"	"	"	291,7	20	"	F
7,5	8,3	10,0	224,0	10	"	F
"	7,3	9,5	191,0	17	"	F
"	9,0	10,0	230,0	10	"	St
"	"	"	224,0	10	"	St
"	8,7	9,0	165,0	12	"	F
"	8,0	"	180,0	15	"	F = St
"	"	"	182,0	11	"	F < St
"	7,3	9,5	208,0	12	"	F < St
"	8,0	11,0	"	12	"	St
"	"	"	"	23	1352 □cm	F > St
"	"	"	232,0	27	"	F
"	"	"	260,0	30	"	F
"	6,7	12,5	288,0	32	"	F
"	"	"	300,0	24	"	St
"	6,3	"	300,0	25	"	St
"	7,0	10,0	300,0	32	"	F

Wir ersehen aus dieser Tabelle nur Gesetze, die im Grunde genommen selbstverständlich erscheinen dürften und vorauszusehen waren: man erkennt, dass die zur Erzeugung der gleitenden Funken günstigste Entfernung der Pole von der Wasseroberfläche von dem Durchmesser der Kugeln abhängt; je geringer derselbe ist, desto näher müssen die Pole an das Wasser gebracht werden und umgekehrt. Die Schlagweite, unser D der Tabelle, scheint von r nicht abzuhängen, dagegen spielt hierbei die Menge der angesammelten Elektrizität eine bedeutende Rolle. Die Anzahl der Umdrehungen der Maschine hängt nur von der Grösse des Flaschenbelegs ab, da die Entladung bei grösseren Schlagweiten stets nur dann erfolgt, wenn erfahrungsgemäss die Batterie vollständig geladen ist.

Vor allem aber verdient es Beachtung, dass man durch verhältnismässig geringe Mittel imstande ist, sehr grosse Funken herzustellen; und ich bin überzeugt, dass bei Anwendung grösserer Batterien Schlagweiten erzielt werden können, wie sie bis jetzt noch nie erzeugt werden konnten, und es ist hiermit ein sehr interessantes und überraschendes Experiment in die Physik eingeführt. Dabei ist jedoch zu bemerken, dass die Intensität der elektrischen Entladung abnimmt, da diese gewissermassen auseinandergezerrt wird, sich also auf eine grössere Strecke verteilt. Trotzdem waren aber die längsten Funken noch imstande, Zeichencarton von mittlerer Stärke zu durchschlagen, und zwar befanden sich die charakteristischen Durchbohrungen mit den nach aussen aufgeworfenen Rändern stets genau an der Stelle, an welcher das Blatt ins Wasser tauchte. Nicht selten entstanden auch zwei und mehrere Oeffnungen. Um nun auch zu ermitteln, ob die gleitenden Funken zu zünden vermöchten, tränkte ich das Papier mit Benzol und stellte es in der Mitte zwischen den Polkugeln auf. Blitz und Entzündung erfolgten zugleich, auch war das Papier wieder durchbohrt. Nun umwickelte ich einen dünnen Glasstab mit Watte und goss ein wenig Benzol auf dasselbe. Während jetzt der Glasstab in verschiedenen Lagen zwischen den Polen angebracht wurde, um zu ermitteln, ob ein Teil der Funkenbahn sich vor anderen in dieser Hinsicht auszeichne, fand ich, dass dies nicht der Fall sei, ja dass sogar die Sternentladungen das Benzol zu entzünden vermochten.

Man kann auf Grund dieser Versuche einige interessante Schlüsse ziehen, welche indes weiter unten ihre Stelle finden sollen, jedoch auf einen Punkt will ich hier schon hinweisen. Bekanntlich unterscheidet man im Volksmunde Blitze, welche zünden und sogenannte „kalte Schläge“, nach denen keine Feuersbrunst entsteht. Nun haben wir es in den gleitenden Funken offenbar mit zündenden Blitzen im Kleinen zu thun, während die Entladungen durch die Luft selbst sehr leicht entzündliche Stoffe wie Schiesspulver nicht entzünden, und man muss die Intensität der Entladung durch Einschaltung von Widerständen in den Schliessungsbogen vermindern, um durch den elektrischen Funken eine Pulverexplosion zu bewirken, ein Experiment, welches in den Vorlesungen häufig genug gemacht wird; ein nicht verzögerter Funke repräsentirt also einen kalten Schlag.

Im Anschluss hieran habe ich es versucht, noch andere Eigentümlichkeiten des Blitzes nachzumachen, indem ich den Funken über feuchten Sand, fliessendes Wasser und feste Körper gleiten liess. P. Reis sagt in seinem Lehrbuch der Physik: „Der kalte Schlag, bei welchem keine Entzündung getroffener Gebäude stattfindet, ist 2 bis 4 mal häufiger als der zündende Schlag, weil für die zündende Wirkung der elektrische Funke künstlich verzögert werden muss, was zum Beispiel durch nasse Strohdächer stattzufinden scheint.“ Die Vermutung, dass der Blitz Gegenstände, welche durch Feuchtigkeit leitend gemacht sind, nicht wie die Metalle durchsetze, sondern über dieselben hingleite, lag sehr nahe, und ich habe sie durch viele Experimente bestätigt gefunden. Auf einer starken Glasplatte breitete ich eine dicke Schicht von mässig angefeuchtetem Sande aus, und als ich nun die Pole darüber lud, glitten die Funken über die Sandfläche hin wie über das Wasser, jedoch hinterliessen sie nicht die geringste Spur. Die Fläche braucht durchaus nicht eben zu sein, sondern der Funke gleitet über Erhöhungen und durch Vertiefungen mit derselben Leichtigkeit. Die Polkugeln mussten natürlich dem Sande etwas näher gebracht werden als dem Wasser, weil das letztere, wie

wir oben gesehen haben, vor der Entladung ein wenig emporgehoben wird. Ferner habe ich gleitende Funken auf angefeuchteten Holztafeln (sie waren von Tannenholz) erhalten; dabei war der Weg der Entladung durch einen schmalen Wasserstreifen gekennzeichnet, welcher gewissermassen aus der Platte herausgesogen war.

Ferner ist es bekannt, dass der Blitz sehr gern in Bäume einschlägt und meist die Rinde an denselben in spiraligen Windungen abschält, während er seltener die Bäume zersplittert. Dass wir es hier mit gleitenden Funken im Grossen zu thun haben, lässt sich leicht durch das Experiment bestätigen — *si parva licet componere magnis*. Ich brachte einen frischen, vorjährigen Trieb der Stachelbeere unter die geladenen Pole; der Funke glitt mit heftigem Knall über denselben und riss die oberste graue Rindenschicht bis auf den grünen Bast auf. Zum Schlusse soll hier noch eine Reihe von Versuchen beschrieben werden, welche sich auf Funken beziehen, die über fliessendes Wasser gleiten. H. J. Klein empfiehlt in seiner „Witterungskunde“ als Vorsichtsmassregel beim Ausbruch eines Gewitters die Vermeidung fliessender oder herabfallender Wasser, offenbar, weil die Erfahrung gelehrt hat, dass der Blitz gern seinen Weg über dieselben nimmt. Die Anordnung meiner Versuche war genau so wie oben. Zunächst liess ich einen möglichst breiten, aber dünnen Wasserstrom über eine Glasplatte, welche unter einem Winkel von etwa 45° aufgestellt war, fliessen. Der Radius der Konduktorkugeln war 13,1 mm. Die Funkenrichtung war zuerst senkrecht zum Wasserstrom, die Entfernung des positiven Poles betrug 10 mm, die des negativen 11, und die Schlagweite 66,7 mm. Die Funken selbst unterschieden sich von denjenigen über stehendem Wasser gar nicht, und die Abweichung derselben von der graden Linie gingen keineswegs immer nach unten, vielmehr eben so häufig noch oben, nur konnte eine Erhebung des Wassers unter den Polen nicht wahrgenommen werden. Alsdann wurde die Funkenrichtung mit derjenigen des Wasserstroms übereinstimmend genommen; auch in diesem Falle waren ohne Schwierigkeit gleitende Funken zu erhalten, und es verdient besondere Beachtung, dass es vollständig gleichgültig war, ob der negative oder positive Pol oben war. Einen besonders imposanten Anblick gewähren die an Wasserstrahlen entlang fahrenden Blitze, zumal wenn man mit grossen Elektrizitätsmengen operiert und grosse Schlagweiten hat. Die Versuche erstreckten sich sowohl auf gradlinige als auch auf parabolische Wasserstrahlen, zwischen welchen natürlich kein wesentlicher Unterschied stattfindet; die Strahlen werden sofort, wenn sich die Kugeln zu laden beginnen, von der oberen, sei sie nun positiv oder negativ elektrisch, angezogen, so dass sie eine Strecke weit in einer bestimmten Entfernung in einem concentrischen Ring um die Kugel fliessen, worauf sie ohne in Tropfen zu zerfallen in einer parabolischen Curve weitergehen, während sie sich pendelartig fortwährend hin und herbewegen. Soll nun ein gleitender Funke hervorgebracht werden, so muss man den anderen Pol in eine ganz bestimmte, leider unmessbare, Entfernung bringen, ist dieselbe nämlich zu klein, so finden fortwährend Entladungen zwischen diesem Pol und dem Wasserstrahl statt, ist die Entfernung zu gross, so erhält man gar keine Funken. Wenn man aber die günstigste Distance genommen hat, dann fährt der Blitz unter sehr starkem Knall an dem Strahl hinab, ohne denselben in seiner Form zu verändern. Nach

der Entladung fliesst das Wasser dann wieder in seiner ursprünglichen Gestalt bis sich die obere Kugel wieder ladet, worauf das Spiel von neuem beginnt.

Die Antolik'schen Funkenbilder lassen sich nicht nur auf Glas, sondern auch auf Papier, trockenem Holz, Hartgummi und anderen isolierenden Substanzen hervorbringen, jedoch nur dann, wenn sie mit einer schwachen Russschicht überzogen sind. Der Russ ist es also offenbar ganz allein, welcher die gleitenden Funken ermöglicht. Ebenso ist es bei meinen Versuchen das Wasser, die Feuchtigkeit, mittels welcher jene eigentümliche Entladung bewerkstelligt wird. Es ist nun von grossem Interesse, zu untersuchen, ob ausser dem Russ und dem Wasser noch andere Substanzen existieren, welche dasselbe Verhalten zeigen, und vor allem ob der Grad der Leitungsfähigkeit einen Einfluss ausübe. Da Herr Antolik in seiner ersten Abhandlung¹⁾ schreibt, dass er eine Glastafel „mit allen möglichen pulverisierten Körpern“ bestreut habe und zu keinem Resultat gelangt sei, so habe ich mich, obgleich dies natürlich nicht wörtlich zu nehmen sein wird, doch auf die flüssigen Körper beschränken zu können geglaubt. Jedoch ist es mir nicht gelungen, noch andere Substanzen zu ermitteln, und nachdem ich mehrere Flüssigkeiten von verschiedenem Leitungsvermögen geprüft hatte, habe ich diese Versuche aufgegeben. Da indes die Experimente einiges Bemerkenswerte bieten, so will ich sie hier kurz beschreiben. Die Anordnung bei denselben war genau so wie oben beim Wasser.

Zunächst wurde Petroleum untersucht, die Pole waren in derjenigen Entfernung angebracht, welche für Wasser die günstigste war. Die Flüssigkeit wurde von den Polkugeln angezogen, bis sie dieselben erreichte, so dass eine dünne Säule sie verband; in derselben fand ein lebhaftes Auf- und Niederfliessen statt, wodurch die Elektricitäten (die der Pole und die inducierte der Flüssigkeit) fortwährend ausgeglichen wurden. Bei Terpentinöl zeigte sich genau dieselbe Erscheinung, nur entstanden 4 bis 5 Flüssigkeitsfäden, durch welche der Ausgleich vor sich ging. Dagegen fanden bei leichtentzündlichen Flüssigkeiten, wie Alkohol und Aether Entladungen zwischen den Kugeln und der Oberfläche statt, aber nach jedem Funken, geriet dieselbe in Brand. Concentrierte Schwefelsäure und wässerige Schwefelsäure von 1,22 spezifischen Gewichte ergaben schwache Entladungen zwischen den Polen und der Oberfläche, aber keine gleitenden Funken, jedoch bildeten sich jedesmal kleine leuchtende Sternchen. Wir sehen also, dass weder grössere noch geringere Leitungsfähigkeit, als sie das Wasser besitzt, zur Erzeugung von gleitenden Funken geeignet ist, und dass demnach ein mittleres Leitungsvermögen vorhanden sein muss. Ferner scheint es ausser Zweifel, dass es unter der grossen Menge von Substanzen noch eine oder die andere von demselben Verhalten wie der Russ und das Wasser giebt, da jedoch das Wasser am meisten verbreitet, also für die Praxis bei weitem am wichtigsten ist, so habe ich mich wieder der Untersuchung desselben ausschliesslich zugewendet.

Bei Blitzschlägen ist es von grossem Interesse, den Weg zu verfolgen, welchen er eingeschlagen hat; bekanntlich folgt er vorzugsweise metallischen Leitungen, verbiegt oder schmilzt sie, wenn dieselben dünn, und durchsetzt sie ohne sie zu verändern, wenn dieselben dick genug sind. Die Experimente mit gleitenden Funken bestätigen die Vorliebe des

1) Pogg. Ann. Bd. 151.

Blitzes zu Metallen nicht vollkommen. Um zu untersuchen, ob der Funke lieber durch Metall als über eine Wasseroberfläche gehe, brachte ich auf beiden Seiten der Pole starke Kupferdrähte an und setzte die Maschine in Bewegung; die Entladung erfolgte selbst wenn die Entfernung der Pole von den Kupferdrähten ebenso gross war als die von der Wasseroberfläche, als gleitende Funken, und erst als die erstere geringer war als die letztere, erhielt man Funken zwischen den Kugeln und den Drähten. Wir sehen also, dass der Blitz den Weg über das Wasser, den man von vornherein für unvorteilhafter anzusehen geneigt ist, demjenigen durch das Metall vorzieht.

Zu demselben Resultat führten auch die Versuche mit Benutzung eines Magnetstabs. Es ist bekannt, dass in Vacuumröhren die elektrischen Entladungen durch den Magnet abgelenkt werden. Um nun zu prüfen, ob dies auch mit den gleitenden Funken der Fall sei, etablierte ich in einer mässigen Entfernung von der Verbindungslinie der beiden Pole in der Mitte zwischen denselben einen Magnetstab. Als jetzt die Maschine in Gang gesetzt wurde, schlugen die Funken zwar theils nach dem Magnet, aber ebenso oft bogen sie nach der entgegengesetzten Seite von der graden Verbindungslinie ab, und erst als ich den Magnet so anbrachte, dass seine Endfläche mit der letzteren zusammenfiel, gingen die Funken ausschliesslich nach dem Eisenstab, was übrigens auch nur dann stattfand, wenn derselbe teilweise ins Wasser tauchte. Vor einer Ablenkung der gleitenden Funken durch den Magnetismus war jedoch durchaus nichts wahrzunehmen.

Zum Schluss sei hier noch bemerkt, dass auch die Erwärmung des Wassers keinen Einfluss ausübte; die Schlagweite wurde weder kleiner noch grösser, nur als bei sehr hoher Temperatur das Wasser zu verdampfen begann, schlugen sich die Dämpfe auf den Polkugeln nieder, wirkten so wie Spitzen, und es konnte die erforderliche Elektrizitätsspannung nicht mehr erreicht werden.

Es ist von vornherein evident, dass der elektrische Funke die Wasseroberfläche in irgend eine Art von Bewegung versetzen muss, und in der That sieht man nach der Entladung Wasserwellen, die sich am Rand des Gefässes brechen und untereinander interferieren, doch ist die Beschreibung derselben wegen ihrer kurzen Dauer und wegen ihrer Unregelmässigkeit sehr schwer und unausführbar. Wichtiger scheinen mir die Veränderungen der Wasseroberfläche zu sein, welche man durch Bestreuung derselben sichtbar machen kann. Zum Bepulvern kann man irgend welche Substanz anwenden, denn sie übt meist nur einen sehr geringen Einfluss aus, doch verdient *Lycopodiumsamen* den Vorzug, weil er stets auf der Oberfläche bleibt, während die übrigen gebräuchlichen Pulver nach einiger Zeit versinken. Es empfiehlt sich, um die Bilder besser sichtbar zu machen, auf dem Grund des Gefässes ein Stück schwarzes Papier oder Tuch anzubringen; Die Zeichnungen auf Tafel II. u. III. sind hiernach angefertigt, weshalb auch die vom *Lycopodium* freien Stellen ein dunkles Aussehen haben. Ich habe drei verschiedenen Arten von Bestreuung angewendet.

1. Das *Lycopodium* war so dünn, dass die Oberfläche nicht vollkommen bedeckt war, einzelne Gruppen der Sporen, welche sich gegenseitig angezogen hatten, schwammen frei umher.

auf die berusste Platte aufspringen und dann weiter gehen, nicht anschliessen kann. Vielmehr scheint es mir evident, dass man es hier nicht mit einer einzigen Entladung, sondern vielmehr mit 3 verschiedenen zu thun hat; die beiden Pole inducieren in dem Wasser oder vielmehr auf der Oberfläche desselben die ungleichnamige Elektrizität und vertreiben gewissermassen die gleichnamige, ist dann die Spannung gross genug geworden, so findet ein dreifacher Ausgleich statt. Naturgemäss ist die Spannung der Elektrizität beispielsweise an der Stelle, welche dem positiven Pol gegenüber liegt, grösser als die in dem Pole selbst und zwar um das Doppelte, weil die vom negativen Pol verdrängte negative Elektrizität hinzugekommen ist. Nach dem Ausgleich zwischen den Polen und dem Wasser bleiben also den Polen gegenüber noch ungleichnamige Elektrizitätsmengen übrig, die nun plötzlich nicht mehr gebunden sind und sich gegenseitig auf die oben beschriebene Art im elektrischen Funken vernichten. Diese Erklärungsweise wird gestützt durch die Sternentladungen, welche offenbar zwei verschiedene Funken sind (nur findet kein Ausgleich auf dem Wasser statt, weil die Entfernung zu gross ist) sowie durch die Versuche mit den Metalldrähten, welche in der Nähe der Polkugeln etabliert waren, und nach welchen der Funke nur dann überschlug, wenn dieselben näher waren als das Wasser. Auch hier haben wir es mit mindestens zwei Entladungen zu thun, während im Innern des Metalls noch ein dritter Ausgleich stattfindet, was daraus hervorgeht, dass Metalldrähte geschmolzen werden, wenn sie nicht dick genug sind. Wir kommen also zu dem Schluss, dass der gleitende Funke eine spezifische Form des Blitzes ist, mit welcher derselbe die Oberfläche von bestimmten Halbleitern durchsetzt, entsprechend der Art, wie er metallische Leitungen auf eine besondere, charakteristische Weise passiert.

So sehen wir denn schliesslich, dass die Funkenbilder nicht nur in akustischer Hinsicht noch Interesse haben, sondern dass man vielmehr in denselben die Teile, welche rein mechanischen oder akustischen Ursprungs sind, wie die dreieckigen Ausläufer, von den elektrischen unterscheiden muss. Bisher hat man nur die ersteren beachtet und studiert, aber auch auf die letzteren, wozu ich vor allem die „Stahlschicht“ der Russbilder, das breite Mittelband und die Polsterne der Bilder auf Wasser rechne, möchte ich die Aufmerksamkeit der Elektriker lenken, da jene auf eine Erklärung der elektrischen Entladung, wie ich sie oben angedeutet habe, hinzuweisen scheinen. Vor allem aber hoffe ich durch die Experimente, welche einige Eigentümlichkeiten des Blitzes im Kleinen wiedergeben, das Interesse der Physiker gewonnen und damit den Anstoss zu eingehenderen und umfangreicheren Versuchen in grösstem Massstabe gegeben zu haben, woraus ich mir einen nicht unbedeutenden Nutzen sowohl für die Wissenschaft selbst als auch für die praktische Verwertung derselben verspreche.

Die Experimente, welche in der vorliegenden Arbeit beschrieben sind, wurden im Frühjahr 1886 in dem mathem. physikal. Institut zu Marburg angestellt, und ich nehme an dieser Stelle Veranlassung, dem Direktor desselben Herrn Prof. Dr. F. Melde sowohl für die Bereitwilligkeit, mit welcher derselbe mir die notwendigen Apparate zur Verfügung gestellt hat, als auch ganz besonders für das mir von demselben stets entgegengebrachte Wohlwollen meinen herzlichsten Dank auszusprechen.

Fig. I.

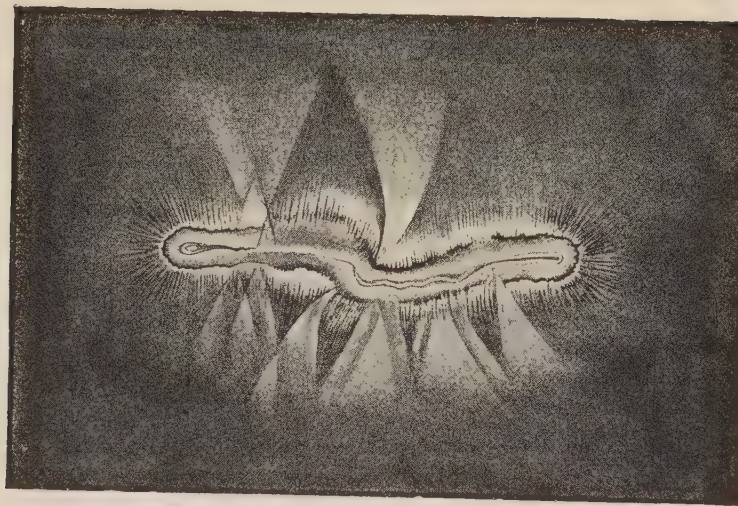


Fig. II.



Fig. III.

